

カンキツ類の寒害 (第1報)

数種の幼樹の耐凍性

吉村不二男・大野芳信

(農学部果樹園芸学研究室)

Studies on the cold injury of citrus trees. I.

Differences in freezing resistance of citrus species.

Fujio YOSHIMURA and Yoshinobu ŌNO

(Laboratory of Fruit-production, Faculty of Agriculture)

Summary

1. Using various citrus species grown in a green house from the previous late autumn, the resistance of the plants to freezing was observed by lowering the temperature of the refrigerator slowly down to -5°C , -7°C , -8°C , -9°C , -10°C and -12°C respectively. The tissues around the lateral shoot buds were first frozen at -4 to -5°C , and the freezing spots appeared gradually on the leaves from their basal part at -5 to -6°C . Thus, the temperature at which all plant parts were frozen was as follows: -9°C for Natsumikan (*Citrus Natsudaïdai*) and Orange (*Citrus sinensis* var. *brasiliensis*); -10°C for Lemon (*Citrus limon*), Hassaku (*Citrus Hassaku*), Hyuganatsu (*Citrus Tamurana*) and Buntan (*Citrus grandis* var. *Hōgen*); and -11°C for Unshū (*Citrus Unshū*) and Daidai (*Citrus Aurantium*).

2. When the temperature in each treatment was raised to -2 or -3°C from its minimum value, all of the frozen plants begin to thaw. They became as normal as the non-treated plants when kept at 0°C for 4 or 5 days. However, it was noted that some of leaves were killed when the minimum temperature was -8°C , and some of stems were killed when it was -12°C , the degree of damage being most severe in Natsumikan, Lemon and Orange, and being least in Unshū and Daidai.

3. When the plants were moved to a warm place after the freezing treatment, they all developed new sprouts. However, their growth was markedly retarded by the treatment, particularly at freezing temperatures lower than -8°C . This retarding corresponded to the degree of freezing damage of the foliage. In conclusion, the cold resistance of citrus species was as follows: Daidai and Unshū were the most resistant; Buntan, Hassaku and Hyuganatsu were of medium resistance; and Natsumikan, Lemon and Orange were the least resistant.

緒言

最近カンキツ類の栽培が盛んとなり、その増植は相当な低温地帯にまで及び、それに伴って、耐寒性品種の育成が望まれている。高知県の比較的暖かい地域にある当学部のカンキツ園では、ここ数年間に再三にわたる甚だしい寒害をうけ、幼樹の半数以上が枯死した。その枯死歩合は品種によ

っていちじるしく異なり、文旦、八サク、日向夏ミカン、および夏ミカンでは全幼樹の全葉が枯れ落ち、大半の樹が5、6月頃までに徐々に枯死した。しかるに温州ミカンでは一部の葉が落ちる程度で、枯死するものはなかった。すなわち、夏ミカンよりも温州ミカンの方が樹体の耐寒性が強かった。そこで、筆者は人為的に健全な幼樹を種々な低温にあわせて、その耐寒性を実験的に比較観察することにした。

本稿は京都大学小林章教授の校閲をえた。心から感謝する。

実験材料と方法

実験1；1959年11月下旬に箱植のダイダイ、温州ミカン、法元文旦、八サク、ヴィラフランカ・レモン、ワシントン・ネーブル・オレンジ、日向夏ミカンおよび夏ミカン（カラタチ台1年生）の幼樹を温暖なガラス室（最低気温 3.5°C 、最高気温 17.0°C ）に搬入し、これらを1960年1月29日から2月5日までの間で、順次、夕方（午後5時～10時）から冷蔵庫に入れ、第1図に示すように、ほぼ自然に近い経過で 0°C から順次さげ、翌朝の明け方にそれぞれ、低極温 -5°C 、 -7°C および -9°C に達するようにした。いずれの場合も凍結処理前後12時間は冷涼な部屋（ $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ ）に移した。なお、 -7°C 処理区だけは一度処理した一部の材料につき12時間後に再び -7°C 処理をした。

以後は7月23日までガラス室にて普通に管理し、生育を比較観察した。

実験2；実験1の場合よりも低極温をさらに低くして処理した。すなわち、1960年12月下旬に、

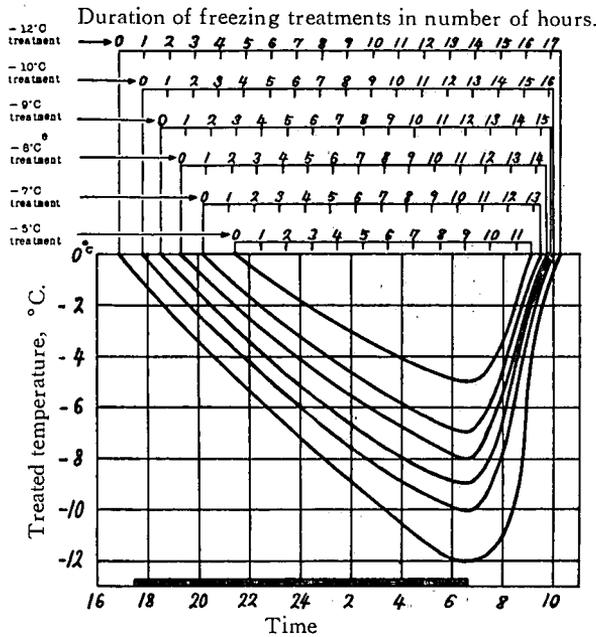


Fig. 1. Experimental design of the freezing treatments.

All plants were kept in a cool place 0 to 5°C for 12 hours before and after being subjected to freezing treatments. At the time designated for each treatment, in the evening of the experimental day, plants were placed in the refrigerator where the temperature was lowered at the rate of approximately one degree per hour, finally reaching the value of -5°C , -7°C , -8°C , -9°C , -10°C and -12°C , respectively, early in the morning of the following day. Except for the treatment periods designated above, all plants were held at temperatures that varied from 3.5 to 17.0°C daily.

鉢植の温州ミカン、法元文旦、ハサク、ヴィラフランカ・レモンおよび夏ミカン(カラタチ台1年生)の幼樹を一応温暖な処(最低気温 0°C 、最高気温 16°C)においた後、1961年2月27日から3月3日まで順次冷蔵庫に入れた。その際の低極温はそれぞれ -8°C 、 -10°C および -12°C である(第1図)。処理後は7月5日まで温暖な圃場において普通に管理して、その生育状況を比較観察した。

実 験 結 果

1. 茎葉の凍結経過と凍死

(i) 凍結と症状：樹体の凍結経過を示すと第1表および第2図のとおりである。庫内の温度が $-(4\sim5)^{\circ}\text{C}$ にさがると、全樹体の内で最初に凍結するのは茎の芽の附着部位で、濃緑色の油浸状の斑点となった(第2図-A)。次いで、 $-(5\sim6)^{\circ}\text{C}$ にさがると、中肋に沿った葉の基部に凍結斑が現われ、次第に葉面全体に及んだ(第2図-B)。その際、傷の部分や露の附着部位が特に早く凍結した。さらに $-(7\sim8)^{\circ}\text{C}$ にさがると、葉脈に沿って凍結斑が融合拡大した(第2図-C)。温度がさがるにつれて、葉が上方に向かって円筒状に巻きはじめ、凍結部分の色が暗緑色にかわり、ほぼ -10°C で全樹体が凍結した。 $-(10\sim11)^{\circ}\text{C}$ になると、暗緑色に変じた葉の裏面に銀白色の光沢を生じた(第2図-D)。

(ii) 種類別の凍結温度：凍結処理温度別に、種類間の凍結程度を比べると、 -5°C 処理ではいずれも茎の半分と葉の一部が凍結し、 -7°C 処理では、夏ミカンが全樹凍結した外は、種類間の差が不明瞭で、概して、茎の大部分と葉の半分が凍結した。 -9°C 処理になると、8種類ともに茎は

Table 1. Symptoms of plants after being kept in refrigerator, the temperature of which was lowered gradually from 0°C to the minimum temperature in each treatment.

Minimum temp. in each treatment	Symptoms of plants treated
$-4\sim-5^{\circ}\text{C}$	Dark greenish and oily spots appeared around stem buds.
$-5\sim-6^{\circ}\text{C}$	Freezing spots appeared first at the basal part of leaves and then spread to all parts. Nearly half of the stems and some of the leaves were frozen in each species.
$-7\sim-8^{\circ}\text{C}$	Large frozen areas developed by freezing spots fusing with each other along the midrib of leaves (Fig. 2-C). Leaves began to roll along their midrib on the upper side. Frozen leaf parts turned dark green. In most species, a greater number of stems and half of the leaves were frozen, except with Natsumikan in which all parts were frozen.
-9°C	All stems were frozen in each species. All leaves were frozen in Natsumikan and oranges, and a greater number of leaves in Hassaku, Buntan and Hyuganatsu, and half of the leaves in Daidai and Unshū.
-10°C	All plant parts were frozen in Natsumikan, Buntan, Hassaku and Lemon.
$-10\sim-11^{\circ}\text{C}$	A whitish and silvery lustre appeared on the surface of the lower side of the frozen dark green leaves.
-12°C	All parts of the plant were frozen in Unshū.



Fig. 2. Freezing symptoms of Citrus Unshū when the temperature was gradually lowered to -12°C . Arrows point to the frozen parts.

全部凍結した。葉についていえば、夏ミカン、オレンジでは全葉が、ハサク、文旦、レモン、日向夏ミカンでは大半の葉が、ダイダイ、温州ミカンでは約半分の葉が凍結した。 -10°C 処理では、夏ミカン、文旦、ハサク、レモンの全樹が凍結した。温州ミカンは -11°C 以下になって(-12°C 処理)はじめて全樹が凍結した。 -7°C の2回処理では、1回目よりも2回目の処理で、凍結量が高い温度からあらわれ、かつ、凍結量もいちじるしく多く、その傾向はとくに夏ミカンおよびオレンジに顕著であった。

これらの凍結中の樹の温度をあげて、 $-(2\sim 3)^{\circ}\text{C}$ にすると、凍結量が不明瞭となり、 0°C に戻

すと、葉が上方に反っている外は処理前とかわらず、4~5日後には大部分が正常に戻った。ただし、凍結処理の低極温がいちじるしく低い場合には組織が凍死した。凍死した葉は融解後24~30時間で乾枯し、褪色し、褐変したままで、長期にわたって、樹上に固着し、とくに小葉は茎から離れにくかった。茎では先端部が褪色し、褐変枯死した。枯死葉の発生状況を示すと第3, 4図のとおりである。すなわち、 -7°C の1回処理では枯死葉が全然現われなかったが、2回処理では夏ミカ

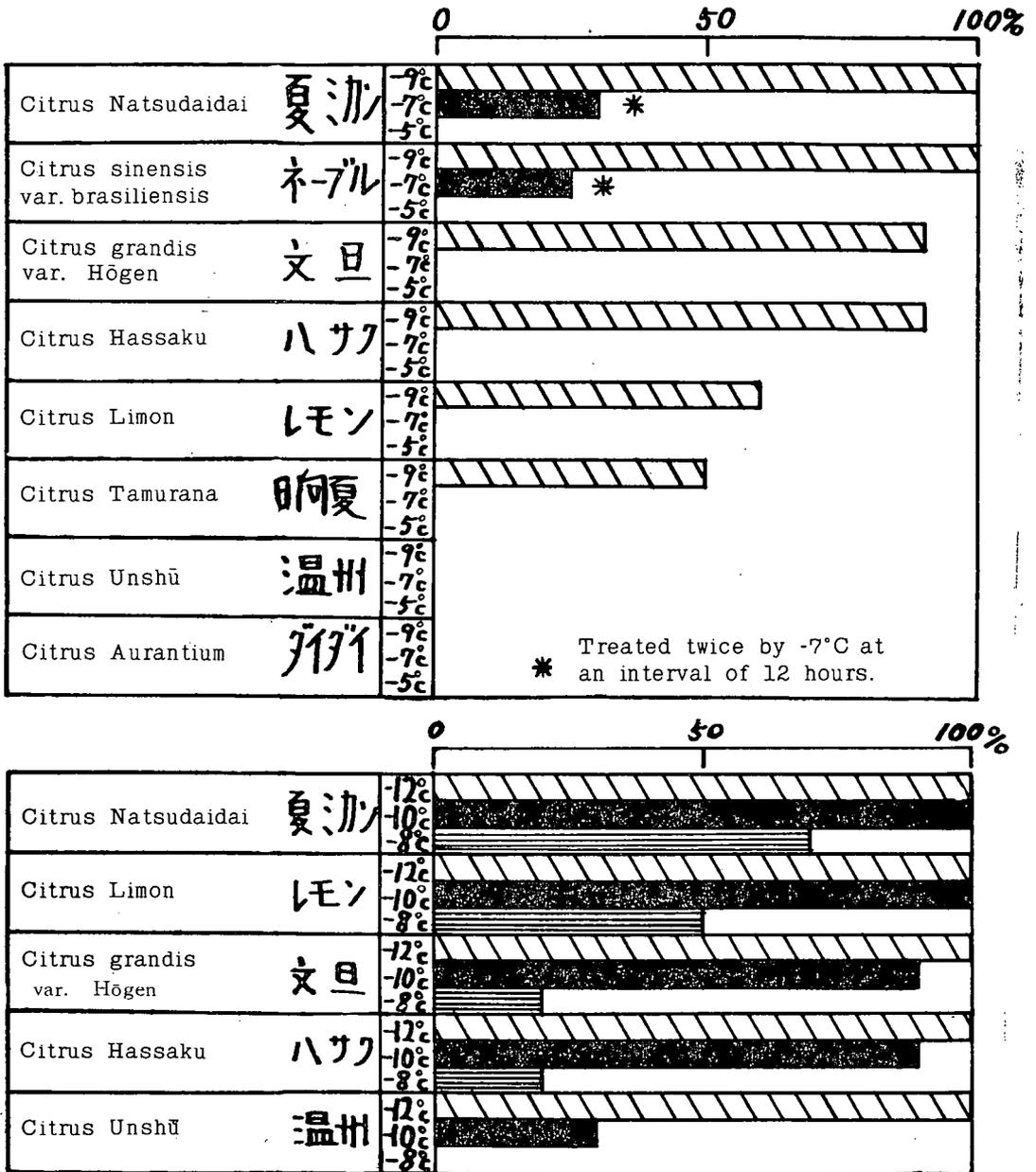


Fig. 3. Per cent of dead leaves per plant when treated by different freezing temperatures. (Upper) Each individual species was treated on a different day between January 29 and February 5, 1960. (Lower) Each individual species was treated on a different day between February 27 and March 3, 1961.



Fig. 4. Spring growth of plants on March 15 after being subjected to freezing treatments conducted on different days between January 29 and February 5, 1960. 1: Non-treatment, 2: -5°C treatment, 3: -7°C treatment, 4: -9°C treatment and 5: Treated twice at -7°C .

ンおよびオレンジの一部の葉， -8°C 処理の温州ミカンを除く種類の半数の葉， -10°C 処理の温州ミカンの一部の葉および他の種類の殆んど全葉が， -12°C 処理のいずれの種類も全葉が凍死した。なお， -12°C 処理の夏ミカン，レモン，文旦，ハサクの茎の頂部が凍死した。

2. 凍結とその後の生育抑制

処理数ヶ月後の生体増加重およびその時の状態を示すと第2，3表および第5，6図のとおりである。

Table 2 Increase in fresh weight about 6 months after the freezing treatments were conducted on different days between January 29 and February 5, 1960.

	Non-treatment	-5°C treatment	-7°C treatment	-7°C^* treatment II	-9°C treatment
	g	g	g	g	g
Citrus Aurantium ダイダイ	1.20(100)	0.87(73)	0.84(70)	0.71(59)	0.62(52)
Citrus Unshū 温州ミカン	0.79(100)	0.56(71)	0.46(58)	0.43(54)	0.37(47)
Citrus grandis var. Högen 法元文旦	0.95(100)	0.81(85)	0.65(68)	0.51(54)	0.36(38)
Citrus Tamurana 日向夏ミカン	0.79(100)	0.63(81)	0.47(60)	0.40(51)	0.29(37)
Citrus Hassaku ハサク	1.09(100)	0.85(78)	0.65(60)	0.52(48)	0.40(37)
Citrus Limon レモン	1.43(100)	1.39(97)	0.97(68)	0.46(32)	0.39(27)
C. Natsudaidai 夏ミカン	1.03(100)	0.87(84)	0.41(40)	0.38(27)	0.23(22)
Citrus sinensis var. brasiliensis オレンジ	0.87(100)	0.65(75)	0.36(41)	0.24(28)	0.05(6)

* Treated twice at -7°C at an interval of 12 hours.

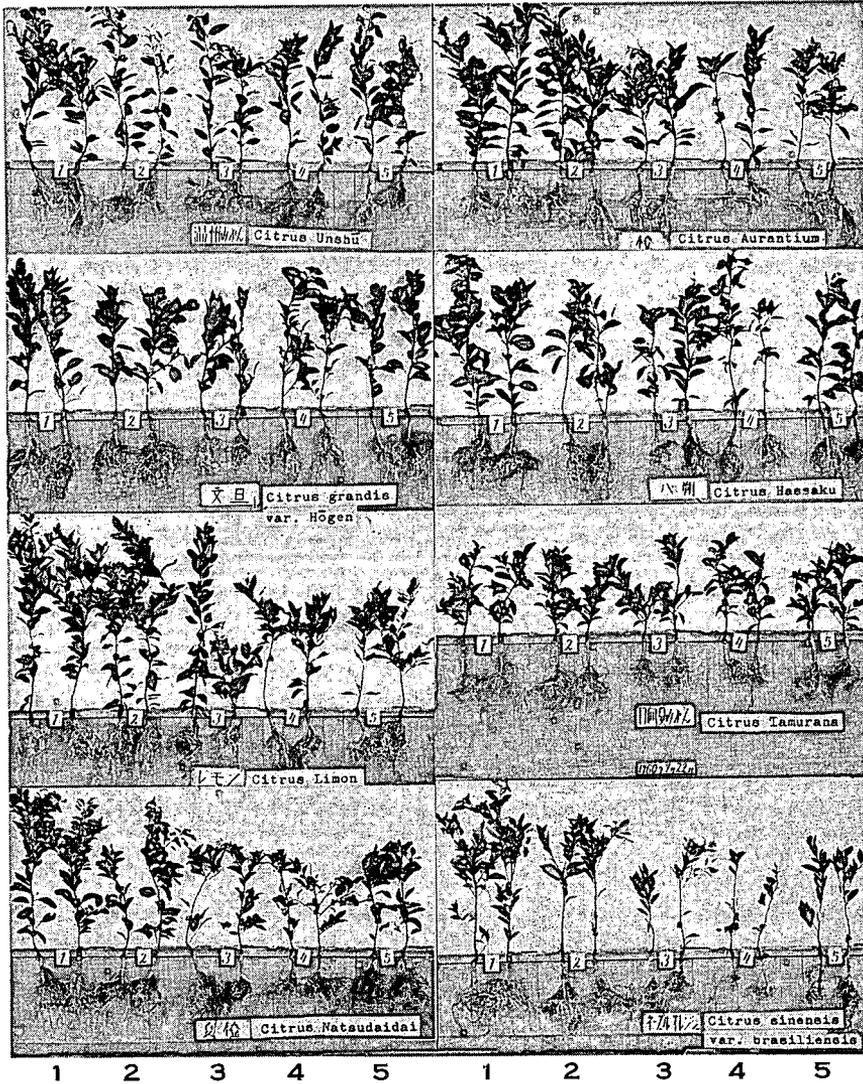


Fig. 5. Growth of plants on July 23 after being subjected to the Freezing treatments conducted between January 29 and February 5, 1960. 1: Non-treatment, 2: -5°C treatment, 3: -7°C treatment, 4: -9°C treatment, and 5: Treated twice by -7°C .

Table 3. Increase in fresh weight about 4.5 months after the freezing treatments were conducted on different days between February 27 and March 3, 1961.

		Non-treatment	-8°C treatment	-10°C treatment	-12°C treatment
		g	g	g	g
Citrus Unshū	温州ミカン	0.49(100)	0.30(61)	0.18(37)	0.07(14)
Citrus grandis var. Hōgen	法元文旦	0.66(100)	0.39(60)	0.20(30)	-0.17(-26)
Citrus Hassaku	ハサク	0.68(100)	0.30(44)	0.21(30)	-0.22(-32)
Citrus Limon	レモン	0.75(100)	0.27(36)	0.20(27)	-0.28(-37)
Citrus Natsudaidai	夏ミカン	0.57(100)	0.20(35)	0.12(21)	-0.22(-39)

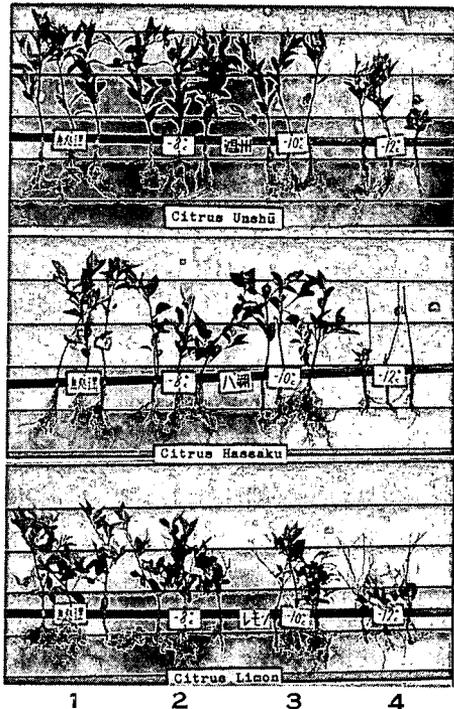


Fig. 6. Growth of plants on July 15 after being subjected to the freezing treatments conducted on different days between February 27 and March 3, 1961. 1: Non-treatment, 2: -8°C treatment, 3: -10°C treatment and 4: -12°C treatment.

オレンジ, 三室カン, 伊予カン, 日向夏ミカン, ダイダイ, レモンが, $7\sim 8^{\circ}\text{C}$ 以上の処にポンカン, グレープ・フルーツ (文旦) が栽培されている⁽⁴⁾。したがって, 平均気温からだけみると, 高知でのカンキツ栽培は十分に可能なはずである。しかるに, 実際には時々寒害をうけて, その栽培が不振である。その理由としては, 冬季の日最低気温が低いこと, とくに, その低極温がいちじるしく低いことがあげられる。

最近10年間で -5°C ^{(5)・(6)}以下になった日を示すと, 第4表のとおりである。すなわち, 1959年1月中旬には3日連続して, -5°C , -7°C , -9°C に, 1960年12月末から1961年初頭にかけては4日間および1月中旬と2月上旬に3日間 $-(5\sim 6)^{\circ}\text{C}$ にさがっている。そのために, 葉柄の基部や芽の附近が灰褐色に枯死するとともに, 葉が順次萎凋落葉し, 4月, 5月には多数の幼樹が枯死した。

当実験においては, 晩秋から引続いて温暖な場所で管理した材料を, ほぼ自然に近い経過をたどって温度をさげ, 人為的に凍結させた。その結果, -7°C 処理を2回繰返した場合でも, オレンジ, 夏ミカンの一部の葉が -9°C 処理では, オレンジ, 夏ミカン, 文旦, 八サク, レモンおよび日向夏ミカンの葉が, -12°C 処理では温州ミカンの葉, および, 文旦, 八サク, レモン, 夏ミカンの茎葉の大半が凍死した。しかし, 人為的に -10°C にまでさげても, 樹体のうちで最も早く凍る芽の附近は凍死せず, 処理後温暖な場所に1カ月ほどおくと, 盛んに展芽伸長し, 4~6カ月後には, 生体重が増加した。この点は, 自然状態で日最低気温が $-(5\sim 6)^{\circ}\text{C}$ にもなると, 大半が落葉し, 春季になって枯死するのと, やや趣を異にしている。おそらく, 低温に遭う場合の植物体の内外の条件やその後の外的条件の相違に因るものと思われる。また, 既報⁽⁷⁾したように, 当実験と

いずれの種類も凍結によってその後の生育がいちじるしく阻害された。その程度は -5°C および -7°C 処理では必ずしもその生育抑制度と枝葉の耐寒性の順序と一致しなかった。しかし, -8°C , -9°C , -10°C および -12°C の如く, 処理極温が一層低くなると, 耐寒性の低いものほど生育が抑制された。その場合の抑制の程度はオレンジ, 夏ミカンおよびレモンで甚だしく, 次いで, 八サク, 文旦, 日向夏ミカンであり, ダイダイおよび温州ミカンは軽かった。

考 察

一般に, カンキツ栽培の現況を気温との関係でみると, 1月平均気温では 5°C 以上, 最低気温の平均では -5°C 以上ないと, 栽培は不可能と云われ^{(3)・(4)}ている。また, 1月, 2月, の平均気温についてみると, 4°C 以上の処に夏ミカン, 八サク, 金カンが, $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ の処にネーブル・オレンジ,

Table 4. Date when the daily minimum temperature fell below -5°C between the years 1951 and 1961.

	December	January	February
1951 — 1952			
1952 — 1953		14 (-5.2)* 15 (-5.3)	
1953 — 1954			
1954 — 1955		16 (-5.5) 17 (-5.5)	22 (-5.3)
1955 — 1956		8 (-7.5) 14 (-5.7) 9 (-5.1)	
1956 — 1957	24 (-5.1) 25 (-5.6)		
1957 — 1968		24 (-6.4) 25 (-6.1)	
1958 — 1959		5 (-6.3) 17 (-5.0) 6 (-5.2) 18 (-9.1) 19 (-7.0)	
1959 — 1960		28 (-5.3) 29 (-5.7)	
1960 — 1961	30 (-5.4) 31 (-5.0)	1 (-6.6) 17 (-5.7) 2 (-5.7) 18 (-6.3) 19 (-5.0)	1 (-5.0) 2 (-5.9) 3 (-5.2) 15 (-5.1)

* Numbers in parenthesis indicate the daily minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$).

全く同じ方法で、数種の実生を凍結させたのに、当実験の結果とは異り、 -9°C 処理ではもちろん -7°C 処理でも文旦、八サク、夏ミカンの全葉が凍死し、その後長期にわたって樹体が徐々に枯死した。これは供試した実生個体の茎の直径が僅か2~4mmで、当実験供試の接木苗の8~12mmに比べて、ズイ(髓)部に多くの凍害を受けた^{(4),(5)}ためとも考えられる。なお、当実験に供した文旦、八サク、夏ミカンの接木苗がカンキツ類のうちでは耐寒性の最も強いカラタチ台に接いであることも、それぞれの実生苗木よりも耐寒性の強い原因でないかとも考えられる。

いずれにしても、凍結に対してカンキツ類は意外に強く、 -7°C に1日だけさがっても芽も葉も枯れない。いま、耐凍性の高いものから低いものの順に列挙すると、ダイダイ、温州ミカン、文旦、日向夏ミカン、八サク、レモン、夏ミカン、オレンジのとおりである。温州ミカンの耐寒性がダイダイと同程度に強く、夏ミカンがレモン、オレンジと同程度に弱いことは意外であった。

要 約

(1) 晩秋から温暖な場所においた数種のカンキツ類を冬季に冷蔵庫に入れて、 0°C から低極温の -5°C 、 -7°C 、 -8°C 、 -9°C 、 -10°C および -12°C まで温度を徐々に下げ、凍結の状態を観察した。その結果、 $-(4\sim5)^{\circ}\text{C}$ では、まず芽の附近が凍結し、次いで、 $-(5\sim6)^{\circ}\text{C}$ で葉の基部から凍結の小斑点が点々とあらわれた。全樹体の凍結温度は夏ミカン、オレンジで -9°C 、レモン、文旦、八サク、日向夏ミカンで -10°C および温州ミカン、ダイダイで -11°C であった。

(2) それぞれの低極温から再び $-(2\sim3)^{\circ}\text{C}$ にあげると、凍結樹は殆んど融解し、次に、 0°C で4~5日おくと正常に戻り、無処理と同じになった。ただし低極温が -8°C では一部の葉が、

-12°Cでは一部の茎が凍死し、その被害は夏ミカン、レモンおよびオレンジで甚大で、温州ミカンおよびダイダイでは軽微であった。

(3) その後、さらに温暖な場所におくと、いずれの種類も展芽伸長するが、処理によって生育が相当に抑えられた。とくに、-8°C以下の処理ではその程度がいちじるしく、その傾向は枝葉の耐寒性の強弱と全く一致した。

(4) 結局、耐寒性は、ダイダイ、温州ミカンで最も強く、夏ミカン、オレンジ、レモンで甚だ弱く、文旦、ハサク、日向夏ミカンはその中間に位いたした。

参 考 文 献

1. 藤田 克治. 1953. 柑橘栽培大成 : 354
2. 岩崎 藤助. 1953. 柑橘栽培法 : 169
3. 木村 光雄. 1959. 果樹園芸学 : 75
4. 小林 章. 1954. 果樹園芸総論 : 3, 50
5. 酒井 照. 1956. 低温科学. 14 : 17~23
6. 田中諭一郎. 1948. 日本柑橘図譜 : 73
7. 吉村不二男. 1961. 高知大学学術報告. 10
8. 吉村不二男・大野芳信. 1961. 園芸学会春季大会講演

(昭和37年 8月31日受理)